

補助事業番号 2020M-204

補助事業名 2020年度 運動意図検出のためのBCIの開発とリハビリ応用 補助事業

補助事業者名 関西学院大学・工学部・知能・機械工学課程・嵯峨研究室

教授 嵯峨 宣彦

## 1 研究の概要

脳梗塞による片麻痺患者の運動機能回復のため、頭で考えた運動意思と連動してリハビリ機器が同期し脳神経系の再構築を目的としたニューロリハビリテーションシステムを開発する。特にこれまで脳波を用いて実現されていない巧緻性を高めるリハビリ機器や日常生活における連続動作支援を対象として、一般的に行われているEEGをベースとした単独の運動(例えば、手を握る、腕を曲げるのみ等)のリハビリテーションから、連続動作に対応できるようEMGを加えた特徴抽出を行うBCIシステムの開発を行う。

## 2 研究の目的と背景

脳梗塞などによる手足関節の運動障害におけるリハビリテーションでは、絶対安静期(治療後2～4週間の急性期)を経て以降の回復期(治療後6か月未満)に、関節可動域訓練療法や持続的他動運動(CPM)により筋肉の拘縮予防や筋力回復訓練のみを行っていたが、近年は回復訓練において、脳の運動学習を基に発症後早い段階で回復訓練を行う促通療法などにより回復率が向上することが明らかになっており、広く行われるようになってきている。さらに最近では、治療後6か月を過ぎた維持期においても、10から20箇所脳波計測データを基に、 $\alpha$ 波や $\beta$ 波の低周波数領域において、運動想起により発生する脳波の事象関連脱同期(ERD)や事象関連同期(ERS)を機械学習等によって検出し、リハビリテーションによる随意運動と組み合わせることにより、脳神経回路を再建/強化し運動機能の回復を試みられるようになっており、運動機能のみならず脳機能の回復が報告されている。

しかしながら、この手法は一部で試みられているのみで一般に広まっておらず、これには以下のような大きな課題があると考えている。

- 脳波(EEG)は外環境の影響を受けやすく、集中力など実験参加者の状態によって変動し、また個人差も大きい。そのため、特定の周波数帯域と計測部位をあらかじめ固定してある認知的タスクを行ったときに誘発される脳波特徴を機械学習などによって検出するには数週間以上を要する。
- さらに、学習した脳波特徴のアルゴリズムを数週間以上経過してリハビリ訓練を行っても脳波計測当日に行うわけではないため、適応可能な被験者と適応できない被験者を生じてしまう。
- 運動意図を想起する運動イメージは個人差も大きいことから、その特徴検出にはばらつきが大きい。

これらの課題からどのように通院即日治療を開始できる手法があるのか、について我々は従来の機械学習ではなくファジィ推論ベースのHeuristic BCIを用いたニューロリハビリテーションシステ

ムを提案し、EEG計測開始から特徴抽出まで1時間以内で実現することが可能な手法を提案している。そこで、次の課題として脳梗塞患者の巧緻性向上のリハビリ訓練を考えると、単一の動作、例えば手を握る、腕を曲げる、脚を上げるなどではなく、ペグボードを用いるリハビリ訓練のような連続動作、例えば手を伸ばす、物を掴む、腕を振る、物を離すなどに対して、どのように運動意図推定を行うのか、本研究では初動をEEGで計測し次の動作を筋電で検出して、上肢支援が可能か検討を行った。

### 3 研究内容 <https://hsi.ksc.kwansei.ac.jp/~saga/studies/02-03.html>

#### (1) 運動意図検出アルゴリズムの開発

図1に支援動作および図2に提案システムの全体像を示している。事前に必要な処理として、タスク、ノンタスクの脳波データを事前に収録し、そのデータを用いてHeuristic BCI のテンプレート作成システムによりテンプレートを作成する。リアルタイムでの計測の際には計測中の脳波と筋電位をそれぞれHeuristic BCI の運動イメージ検出システム、筋活動により運動意図を検出するシステムに入力する。ここで、脳波において肩関節動作の支援、筋電位において肘関節動作の支援を制御する為、肩関節動作を支援中のみ筋電位の検出システムを動作させることで、脳波による

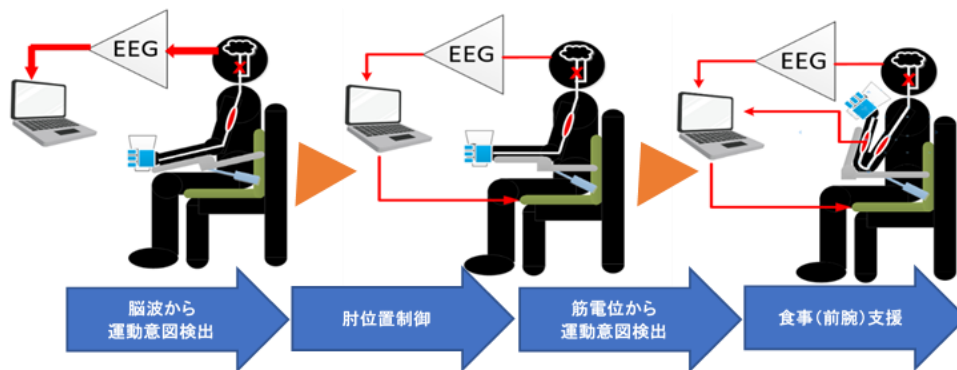


図1. ハイブリッドBCIによる支援動作

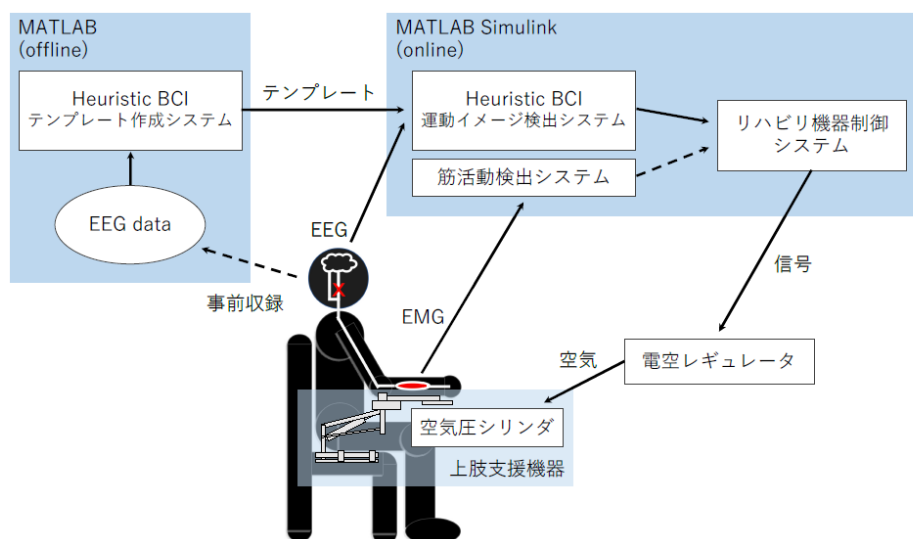


図2. ハイブリッドBCIを用いたニューロリハビリシステムの概要

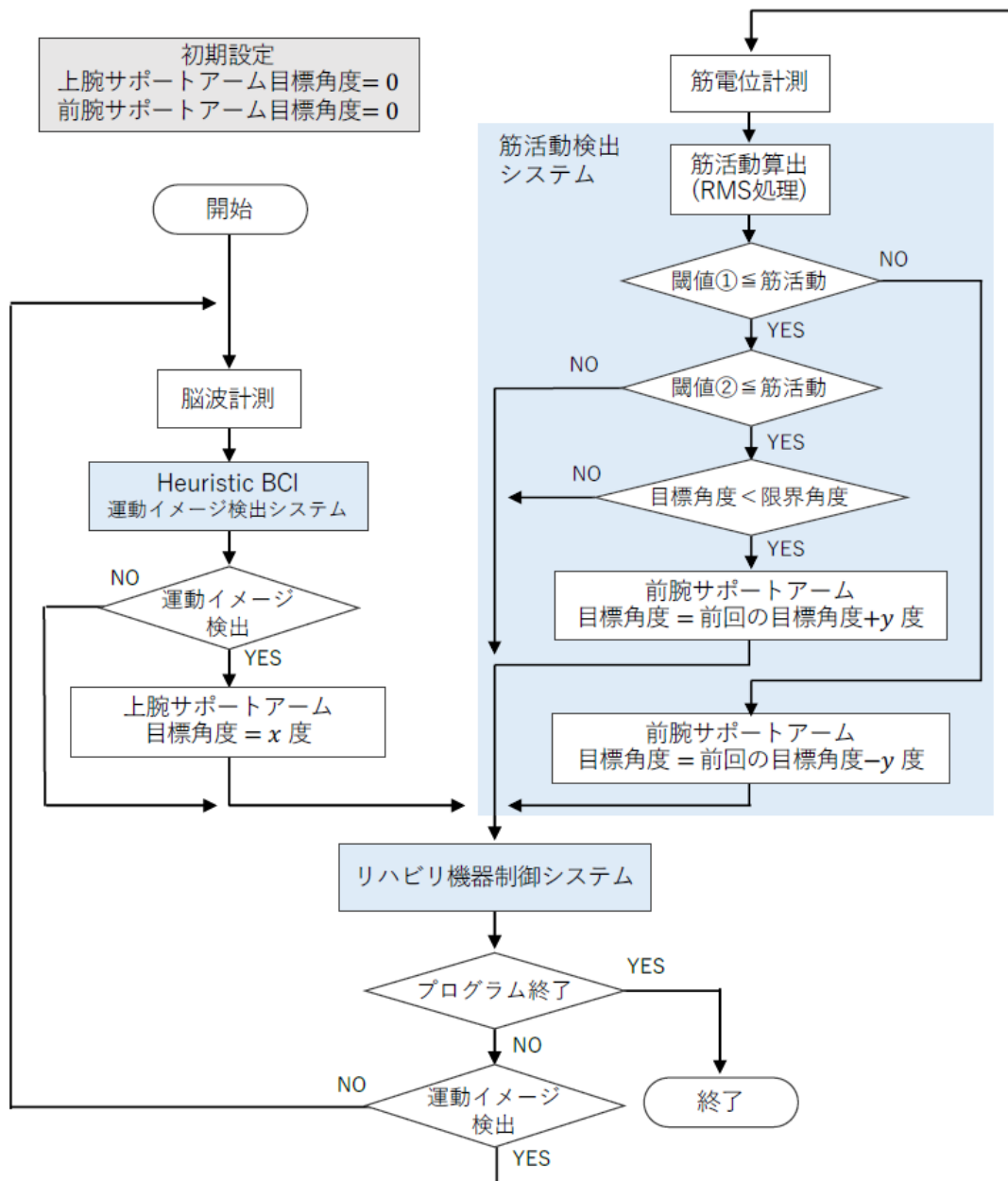


図3. ハイブリッドBCIを用いたニューロリハビリシステムのフロー

識別から筋電位による識別に切り替えを行う。提案システムの全体フローを図3に示す。筋活動検出システムにおいては、閾値を①、②の2つに設定し、筋活動が閾値①未満で前腕サポートアームが下降、閾値①以上閾値②未満で維持、閾値②以上で上昇、という制御を行う。上腕サポートアーム、前腕サポートアームの目標角度はアームが水平である時点を0度とする。また、上腕サポートアームの目標角度に設定する $x$ 、前腕サポートアームの限界角度、目標角度の変化幅である $y$ の値は被験者毎に任意に設定する。

## (2) 食事支援システムにおけるハイブリッドBCIシステムの評価

実験結果を図4に示す。トリガ後1秒間の脳波において運動意図が識別され、肘位置が上昇した。

さらに筋電位が2秒間続けて閾値を超えた時点で前腕アームの目標値が上昇し、閾値以上を維持することでアーム位置を維持する指令が出ている。また、Heuristic BCIの識別結果としては、行った3試行のうち、エラーは平均9.4% (±7.3%)であり十分に安静時と運動イメージ時を識別できていると言える。

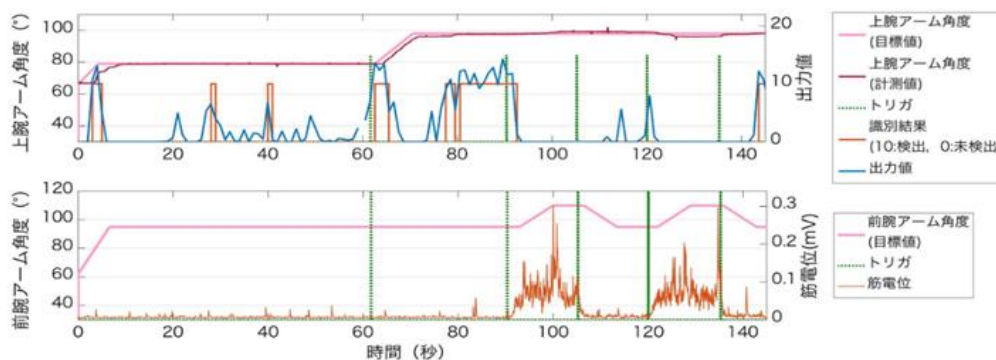


図4. 脳波、筋電位と支援システムの動作結果

高齢者での実験においては、腕の振り下ろし動作においてエラーが生じた。これは、振り下ろし動作において腕の自重で可能なため、元々の筋電による出力が小さいことに起因する。

脳波、筋電、さらには触覚センサなどの物理センサを加えて、連続する対象動作に応じて、選定することで解決できると考える。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

脳神経系の伝達経路に損傷を受ける脳卒中などにおいて、運動機能の回復のためには脳波からの運動意図検出は不可欠である。しかしながら、現在、スマートリハ室などの研究が試みられているが、膨大な脳波データから運動意図を示す事象関連電位などを機械学習させるには数週間以上の日数を要している点が課題である。

我々が提案するヒューリスティックBCIを用いたニューロリハビリテーションシステムは、通院即日治療が可能な1時間以内で検出アルゴリズムが実現可能である。さらには、回復度合いが改善されて行われる巧緻性のためのリハビリ訓練では、筋電などから連続動作に対応できることを今回の研究で示すことができた。

さらに、運動意図検出を生体信号のみに限定せず、物理センサに拡張することで、さらなる実用性が高まると考える。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで空気圧人工筋アクチュエータ等を用いたリハビリ機構の開発と、このむだ時間を有する空気圧アクチュエータに対応するモデル予測制御の1種であるPredictive Functional Controlの適応などの研究を進めてきた。そのような中で、脳卒中片麻痺等の症例に対し、他動によるリハビリ訓練では運動機能回復に至らないことから、脳波からの運動意図の検出方法を探ってきた。今回は、さらに発展させ、連続する運動の予測を脳波に筋電を加えることで検出可能か研究を行い、

実用性や汎用性を高める上で有効であることを示せた。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1)大川幸菜, 芝拓斗, 嵯峨宣彦, 工藤卓, ファジィ推論に基づくHeuristic BCIを用いたニューロリハビリテーションの脳梗塞患者への適用, 第21回システムインテグレーション部門講演会 (SI202020), pp. 2D2-13, 2020.

2)大川幸菜, 嵯峨宣彦, 工藤卓, ニューロリハビリシステムのHeuristic BCI アルゴリズムの高速化, 第39回日本ロボット学会学術講演会, pp. AC1C2-05, 2021.

3)大川幸菜, 嵯峨宣彦, 脳波・筋電位による複合タスクのためのHybrid BCIの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022講演論文集, pp. 2A1-O10, 2022.

4)嵯峨拓真, 大川幸菜, 嵯峨宣彦, 永瀬純也, 佐藤俊之, ハイブリッド BCI を用いたニューロリハビリテーションの提案～脳波-筋電による運動意図推定～, 第39回日本ロボット学会学術講演会, pp. AC2H1-01, 2022.

#### 7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

・ワイヤレス脳波計によるBMI(Brain Machine Interface)システム

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 関西学院大学工学部(カンセイガクインダイガクコウガクブ)

住 所: 〒669-1330

兵庫県三田市学園上ヶ原1番

担 当 者: 教授 嵯峨 宣彦(サガ ノリヒコ)

担 当 部 署: 知能・機械工学課程・嵯峨研究室

(チノウ・キカイコウガクカテイ・サガケンキュウシツ)

E - m a i l: [saga@kwansei.ac.jp](mailto:saga@kwansei.ac.jp)

U R L: <https://hsi.ksc.kwansei.ac.jp/~saga/index.html>